

VARIABILIDADE DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA DA DENSIDADE APARENTE E DA DISTRIBUIÇÃO DO TAMANHO DAS PARTÍCULAS DE UM PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO^{1/}

Fernando Alves Pinto^{2/}
Paulo Afonso Ferreira^{3/}
Salassier Bernardo^{3/}
Laede Maffia de Oliveira^{4/}

1. INTRODUÇÃO

Para o planejamento e manejo de um eficiente sistema de irrigação é indispensável um conhecimento antecedente das características do solo, como retenção de umidade, velocidade de infiltração e condutividade hidráulica, entre outras. A avaliação dessas propriedades, no entanto, tem sido dificultada por causa da grande variabilidade que há nos solos, tanto de um local para outro, dentro de uma área, quanto no sentido vertical.

Essas propriedades, durante a metade desse século, foram intensivamente estudadas no laboratório. Atualmente, estão sendo qualitativamente avaliadas no campo, e têm servido de base ao planejamento e ao manejo da agricultura irrigada (2).

^{1/} Parte da tese apresentada, pelo primeiro autor, à Universidade Federal de Viçosa, para obtenção do grau de «Magister Scientiae».

Recebido para publicação em 22-02-1980. Projeto nº. 4.1673 do Conselho de Pesquisa da U.F.V.

^{2/} Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Civil, 36570 — Viçosa — MG.

^{3/} Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Agrícola, 36570 — Viçosa — MG.

^{4/} Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Matemática, 36570 — Viçosa — MG.

A avaliação das características do solo tem sido uma preocupação quando se aplicam resultados de informações locais a maiores áreas de solos. A variabilidade das características do solo pode ser o fator dominante na determinação da prática de manejo do solo e da água (5).

A velocidade com que a água se infiltra e se redistribui no solo depende de suas características de transmissibilidade. Dada a importância tanto da infiltração quanto da redistribuição da água no solo para a irrigação e a drenagem, o conhecimento da variabilidade da condutividade hidráulica, para áreas maiores, é de grande importância.

Neste estudo, objetivou-se, portanto, determinar a variabilidade «espacial» (horizontal e vertical) da condutividade hidráulica saturada, densidade aparente e distribuição do tamanho das partículas numa unidade mapeada de solo, considerada uniforme. Procurou-se, ainda, analisar as correlações entre as características medidas e suas distribuições de frequência.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização e Descrição da Área Amostrada

Este trabalho foi conduzido numa unidade mapeada de solo localizada no Sítio da Economia Rural da U.F.V., em Viçosa, MG.

O solo predominante na área é o Podzólico Vermelho-Amarelo Equivalente Eutrófico — Latossólico. Atualmente, a área está sob pastagem de capim-gordura (*Melinis minutiflora Beauv.*), e sua condição topográfica é levemente ondulada (17).

Informações detalhadas a respeito das características físicas, químicas e morfológicas desse solo foram dadas por REZENDE (16).

2.2. Métodos de Amostragem

As amostras foram obtidas a partir de um esquema de amostragem em três estádios. Segundo HAMMOND *et alii* (9), esse tipo de amostragem é mais eficiente para o estudo das características físicas do solo que a amostragem simples.

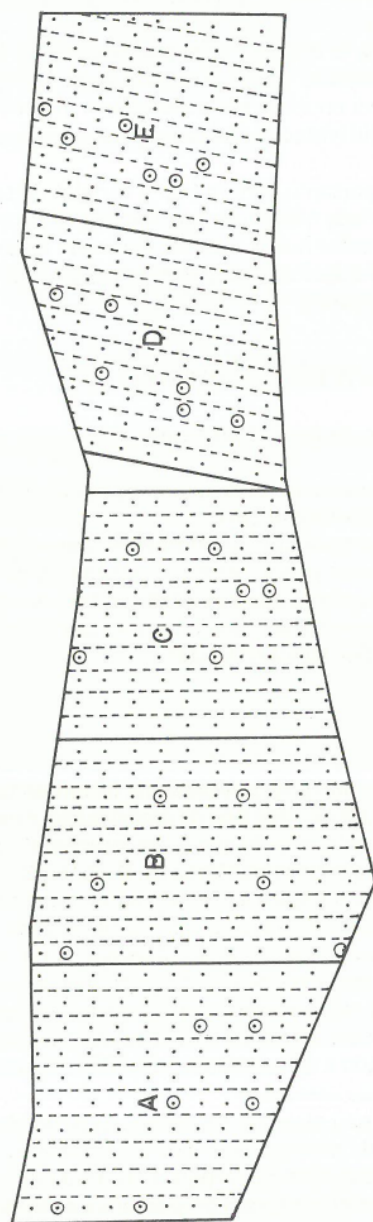
A área estudada foi dividida em cinco subáreas (A, B, C, D e E), de aproximadamente 0,8 ha cada uma, conforme a Figura 1. Cada subárea foi dividida em seções, com 10 m de largura, e as seções divididas em locais, de 10 em 10 m.

Para cada subárea foram escolhidas, ao acaso, 3 seções, e, em cada seção, 2 locais, de onde foram retiradas as amostras de solo, na superfície e nas profundidades correspondentes a 20, 40, 60 e 80 cm, perfazendo um total de 150 amostras.

Foram coletadas amostras com estrutura não alterada para determinação da condutividade hidráulica saturada e da densidade aparente e amostras com estrutura alterada destinadas à análise mecânica.

As amostras com estrutura não alterada constituíram-se de blocos cilíndricos de material de solo, de 5,37 cm de diâmetro por 3,00 cm de altura (volume = 67,94 cm³), obtidas com amostrador tipo Uhland. Depois da retirada do extrator, os blocos de solo contidos nos anéis metálicos foram preparados e acondicionados em recipientes cilíndricos, de 7 cm de diâmetro por 7 cm de altura. Os recipientes foram vedados com fita adesiva, para evitar perda de umidade da amostra durante o tempo que decorre entre a coleta e a primeira pesagem no laboratório.

As amostras com estrutura alterada, com aproximadamente 500 g de material de solo, foram retiradas com trado, tipo «post-hole», e acondicionadas em sacos plásticos.



● - Locais amostrados

FIGURA 1 - Esquema da área experimental, mostrando-se as subáreas, as seções e os locais de amostragem.

2.3. Métodos de Laboratório

As amostras com estrutura alterada, destinadas à análise mecânica, foram trituradas, secadas à sombra e, em seguida, peneiradas em malhas de 2 mm de diâmetro, constituindo, assim, a «terra fina secada ao ar» (TFSA). Para a análise, utilizou-se o método da pipeta (6). Usou-se NaOH 1/10 N como agente dispersante e tempo de repouso de 24 horas. Empregou-se um agitador de 12000 rpm, sendo a sedimentação feita em provetas de 500 ml.

Na determinação da condutividade hidráulica saturada (k_0) foi utilizado um permeâmetro de carga constante, semelhante ao que foi descrito por FERNANDES (7). Na saturação das amostras utilizou-se solução de CaCl_2 0,01N. Idêntica solução foi utilizada durante a determinação.

A condutividade hidráulica saturada foi calculada por meio da equação de Darcy. Os valores de K_0 foram corrigidos para a temperatura padrão de 20°C, usando-se a fórmula

$$K_{20^\circ\text{C}} = K \frac{\mu}{\mu_{20}} \quad (1)$$

em que

K representa o valor da condutividade à temperatura ambiente e μ e μ_{20} as viscosidades dinâmicas da água à temperatura ambiente e a 20°C, respectivamente.

Depois da determinação da condutividade hidráulica saturada, as amostras foram colocadas em estufa, a $107,5 \pm 2,5^\circ\text{C}$, durante 48 horas, para a determinação da densidade aparente (3).

2.4. Análises Estatísticas

A metodologia estatística para a análise de variância dos dados foi semelhante à relatada por STEEL e TORRIE (18) e GRABYLL (8). O esquema da análise de variância encontra-se no Quadro 1, e o modelo estatístico usado foi

$$Y_{ijk} = \mu + a_i + b_{ij} + e_{ijk} \quad (2)$$

em que

$$i = 1, 2, \dots, a$$

$$j = 1, 2, \dots, b_i$$

$$k = 1, 2, \dots, n_{ij}$$

$$b = \sum_{i=1}^a b_i ; n_i = \sum_{j=1}^{b_i} n_{ij} ; n = \sum_{i=1}^a n_i \quad (3)$$

e Y_{ijk} é o valor da observação individual k na seção j e subárea i ; μ é uma constante (média); a_i é o efeito da subárea i ; b_{ij} é o efeito da seção j na subárea i ; e_{ijk} é o erro

aleatório normal e independentemente distribuído, com média 0 (zero) e variância σ_e^2 ; a_i e b_{ij} foram tomados como mutuamente independentes e normalmente distribuídos, com média 0 (zero) e variâncias σ_a^2 e σ_b^2 , respectivamente.

QUADRO 1 - Esquema da análise de variância

FV	GL	QM	E (QM)
Subáreas	a - 1	QMA	$\sigma_e^2 + k_1 \sigma_b^2 + k_2 \sigma_a^2$
Seções dentro de subáreas	b - a	QMB	$\sigma_e^2 + k_3 \sigma_b^2$
Amostras dentro de seções	n - b	QME	σ_e^2

Para estabelecer a natureza da heterogeneidade do solo, com respeito às características medidas, procedeu-se à análise estatística, utilizando-se o modelo proposto.

$$K_1 = \frac{\sum_j \frac{n_{ij}^2}{n_i} - \frac{n^2}{n}}{a - 1} \quad (4)$$

$$K_2 = \frac{n - \frac{\sum_{i=1}^a n_i^2}{n}}{a - 1} \quad (5)$$

$$K_3 = \frac{n - \frac{\sum_{i=1}^a \frac{\sum_j n_{ij}^2}{b_i}}{n_i}}{b - a} \quad (6)$$

Os componentes da variância estimados foram obtidos pela análise de variância, usando-se as seguintes fórmulas:

$$\hat{\sigma}_e^2 = QME \quad (7)$$

$$\hat{\sigma}_b^2 = (QMB - QME) / K_3 \quad (8)$$

$$\hat{\sigma}_a^2 = [QMA - (QME + K_1 \hat{\sigma}_b^2)] / K_2 \quad (9)$$

O número de amostras necessário para estimar a média dentro de um limite de precisão determinado e um nível de probabilidade especificado foi calculado usando-se a equação de PETERSON e CALVIN (14).

As distribuições de frequência foram determinadas por meio de procedimentos semelhantes aos que foram utilizados por OLIVEIRA (13) e NIELSEN *et alii* (12).

Os valores observados das características medidas foram submetidos aos testes de normalidade de LILLIEFORS (10) e de Qui-Quadrado, relatados por OLIVEIRA (13).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. *Análise Granulométrica*

Os valores, em percentagem, da distribuição de partículas de 150 amostras alteradas, do desvio-padrão e do coeficiente de variação encontram-se no Quadro 2.

Observa-se, quando se analisa esse quadro, que a percentagem de argila cresce com a profundidade, enquanto a de areia decresce. Essa é uma característica comum aos podzólicos, onde as partículas menores de solo são translocadas das partes mais altas do perfil para as mais baixas (4).

O aumento dos valores de coeficiente de variação, à medida que aumenta a profundidade do solo, sugere maior desuniformidade na textura do solo nas camadas mais profundas. Esses resultados estão de acordo com os obtidos por COELHO (5).

As amostras, de modo geral, apresentaram textura argilosa, de acordo com o método de classificação textural editado pelo U.S.D.A.

A distribuição de frequência dos valores de percentagem de areia, de silte e de argila encontra-se na Figura 2. Esses dados foram submetidos ao Teste de Qui-

Quadrado, e os valores de χ^2_0 foram 30,18, para percentagem de areia, 41,54, para

percentagem de silte e 15,45 para percentagem de argila. A partir desses resultados, verificou-se que apenas a percentagem de argila seguiu distribuição normal, ao nível de 5% de probabilidade.

Os valores de percentagens de areia, de argila e de silte foram, também, submetidos ao Teste Aproximado de Normalidade, como se vê na Figura 3.

Ao analisar essa figura, nota-se que os valores de frequência acumulada de percentagem de argila encontram-se bem alinhados, evidenciando uma distribuição normal desses dados, conforme foi constatado pelo Teste de Qui-Quadrado. Os valores de percentagem de areia, à exceção dos correspondentes a 99,8% de frequência acumulada, bem como os de silte, à exceção dos correspondentes a 12%, tendem a seguir uma distribuição normal.

3.2. *Densidade Aparente*

Os valores de média, desvio-padrão e coeficiente de variação de densidade aparente, para as profundidades individuais (30 amostras) e para toda a área (150 amostras), encontram-se no Quadro 3.

Nota-se um decréscimo dos valores de densidade aparente com a profundidade, o qual parece ser causado pelo decréscimo na percentagem de areia. Outra possível causa para valores de densidade bem mais elevados junto à superfície poderia ser a compactação dessa camada pelo tráfego de máquinas e animais, já que a área se encontra sob pastagens.

QUADRO 2 - Média, desvio-padrão (D.P.) e coeficiente de variação (C.V.) de percentagens de areia, de silte e de argila, para cada profundidade (30 amostras) e para todas as profundidades (150 amostras)

		Profundidade do Solo (cm)					Todas as
		0	20	40	60	80	Profundi- dades
% de areia	Média	36,83	32,80	28,23	25,40	26,70	29,99
	D.P.	10,70	11,84	8,66	9,84	12,04	11,37
	C.V.%	29,05	36,10	30,68	38,74	45,09	37,91
% de silte	Média	16,63	16,33	16,10	17,63	19,07	17,15
	D.P.	5,66	5,74	6,13	7,70	9,93	7,20
	C.V.%	34,03	35,15	38,07	43,68	52,07	41,98
% de argila	Média	46,53	50,87	55,67	56,97	54,23	52,85
	D.P.	8,05	9,74	8,36	10,86	16,47	11,60
	C.V.%	17,30	19,15	15,02	19,06	30,37	21,95

À exceção das amostras referentes à superfície e a 80 cm, observa-se relativa uniformidade no coeficiente de variação.

A frequência de distribuição dos valores de densidade aparente, para todas as profundidades (150 amostras), usando classes de intervalo de $0,1 \text{ g/cm}^3$ e a curva normal, com média $1,30 \text{ g/cm}^3$ e desvio-padrão 0,11, encontra-se na Figura 4.

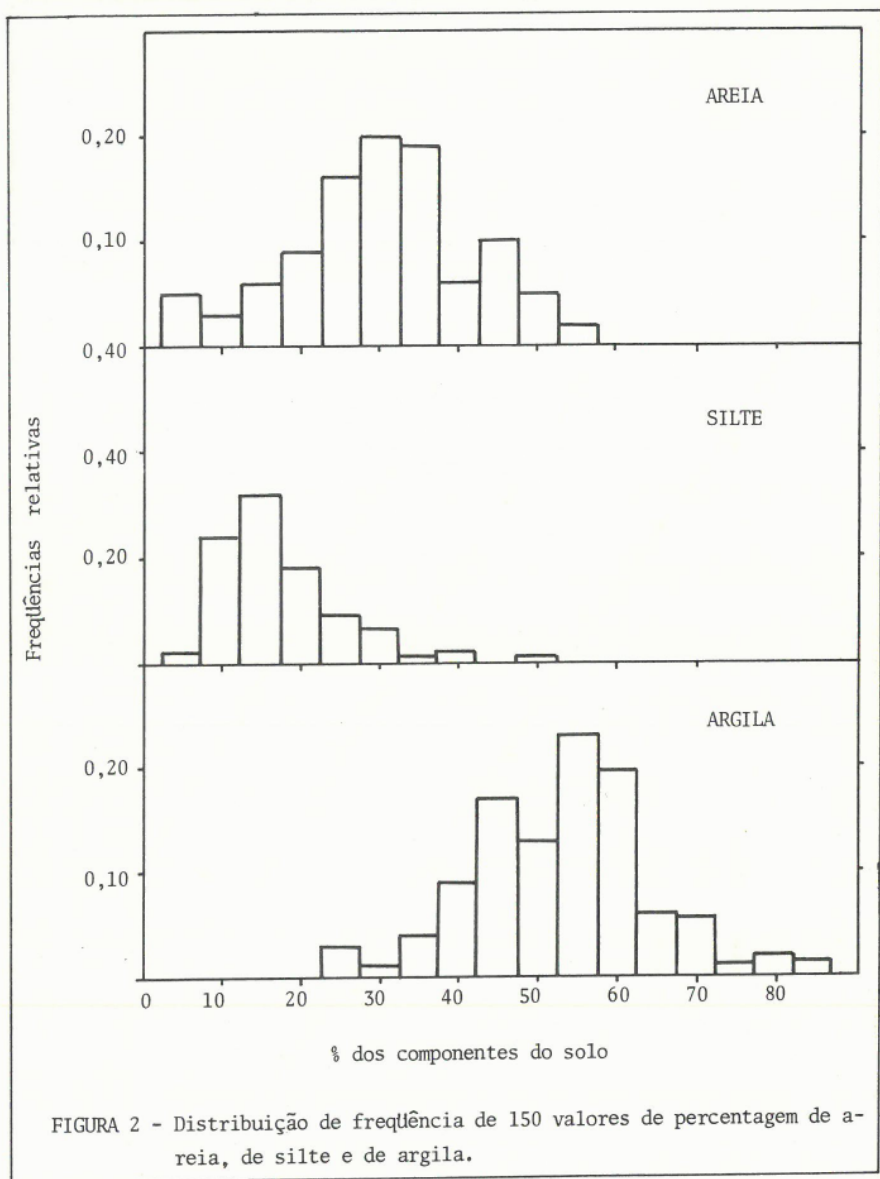
O Teste de Normalidade de Lilliefors mostrou que os valores de densidade aparente seguiram distribuição normal, ao nível de 5% de probabilidade.

3.3. Condutividade Hidráulica Saturada

Os resultados de condutividade hidráulica saturada de 150 amostras não alteradas, nas profundidades de 0, 20, 40, 60 e 80 cm, encontram-se no Quadro 4.

À medida que se aprofunda no perfil do solo, observa-se decréscimo nos valores médios de condutividade hidráulica saturada. Esse comportamento se deve, provavelmente, ao decréscimo da fração areia, associada, em geral, à maior presença de silte e de argila com a profundidade, como se viu no Quadro 2.

Os valores elevados de coeficiente de variação parecem estar associados à hete-



rogeidade das amostras, no que diz respeito à distribuição de partículas, proporcionando grande variação na porosidade do solo, o que influencia diretamente a condutividade hidráulica saturada (11). Tamanho das amostras, falhas na sua manipulação e, ainda, presença de rachaduras mais ou menos verticais e de galerias de insetos, até a profundidade de 120 cm (16), podem também ser incluídos como causas da grande variação nos valores de condutividade hidráulica saturada. Todavia, valores elevados de coeficiente de variação têm sido observados por outros pesqui-

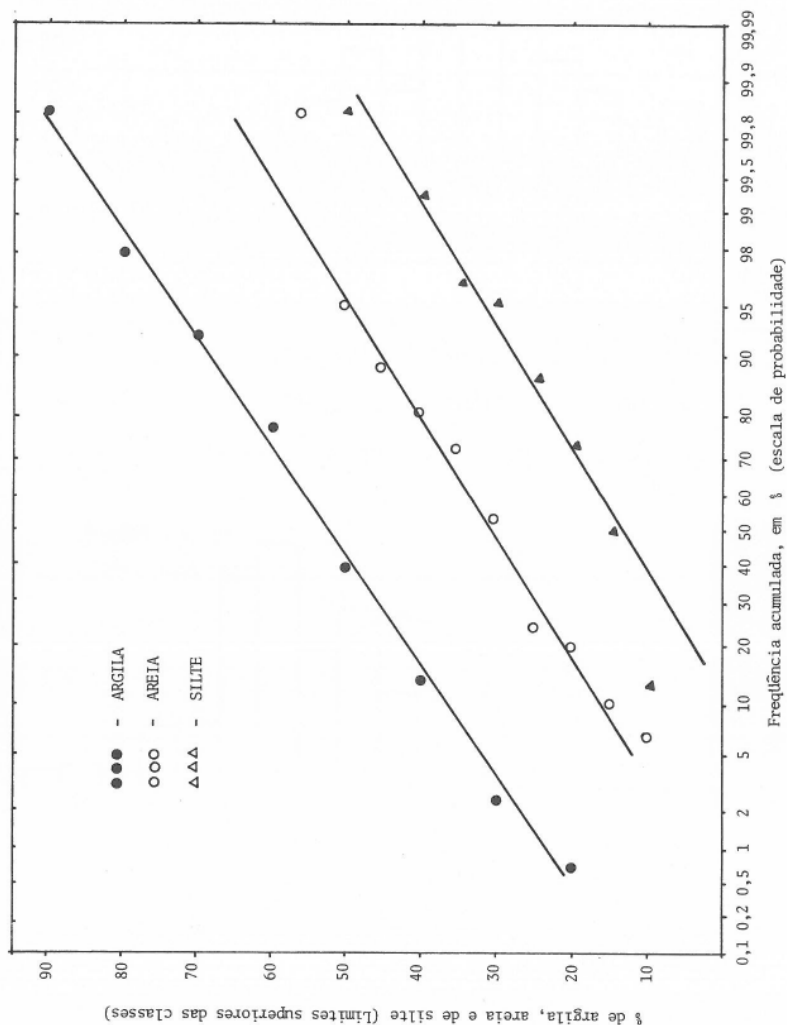


FIGURA 3 - Distribuição de frequência acumulada de 150 valores de % de argila, de areia e de silte.

QUADRO 3 - Média, desvio-padrão (D.P.) e coeficiente de variação (C.V.) de densidade aparente, em g/cm^3 , para as profundidades individuais (30 amostras) e para 150 amostras

	Profundidade do Solo (cm)					Todas as Profundidades
	0	20	40	60	80	
Médias (g/cm^3)	1,34	1,29	1,29	1,28	1,28	1,30
D.P.	0,13	0,11	0,10	0,09	0,12	0,11
C.V. %	9,63	8,37	7,75	7,11	9,73	8,64

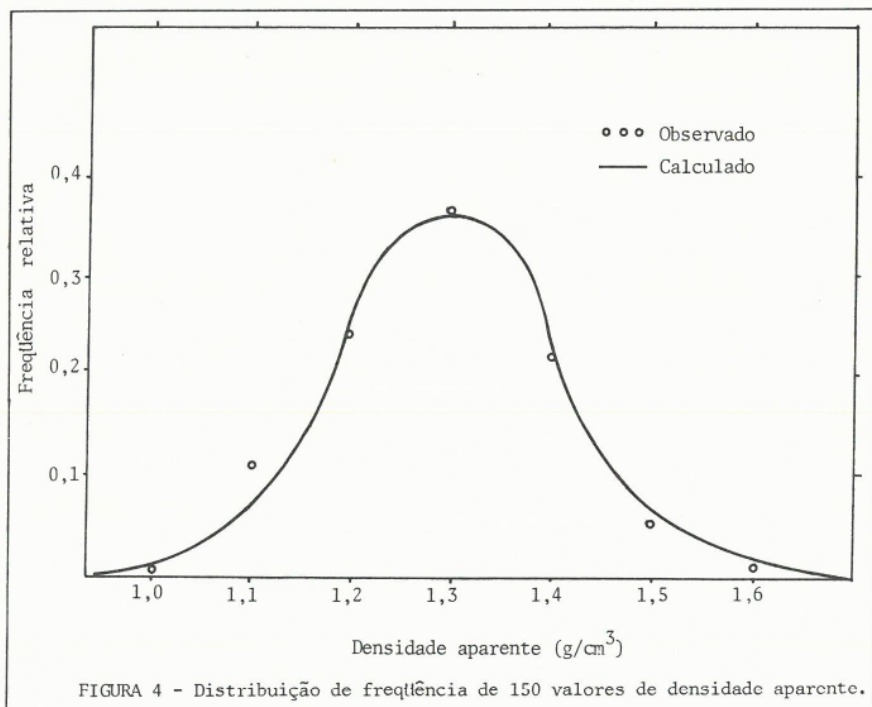


FIGURA 4 - Distribuição de freqüência de 150 valores de densidade aparente.

sadores (2, 5, 12).

A figura 5 mostra a distribuição de freqüência dos valores de condutividade hidráulica saturada.

O teste aproximado de normalidade mostra que os valores de $\log(100 k_D)$ se-

QUADRO 4 - Média, desvio-padrão (D.P.) e coeficiente de variação (C.V.) de condutividade hidráulica saturada, em cm/h, para cada profundidade (30 amostras) e para 150 amostras

	Profundidade do Solo (cm)					Todas as Profundidades
	0	20	40	60	80	
Média (cm/h)	14,72	7,97	5,09	3,21	0,94	6,39
D.P.	10,72	8,49	8,42	6,89	1,83	9,11
C.V. %	72,83	106,53	165,42	214,64	194,68	142,57

guem, aparentemente, distribuição log-normal, à exceção dos valores correspondentes a 99,98 de frequência acumulada, em percentagem (15).

3.4. Relações entre as Características Medidas

Visto que há interesse em estabelecer as relações entre a densidade aparente e a distribuição de tamanho de partículas do solo e a condutividade hidráulica, procedeu-se ao cálculo dos coeficientes de correlação entre essas propriedades.

Com a finalidade de facilitar a análise estatística, os valores observados de condutividade hidráulica saturada foram transformados em logaritmos.

Os coeficientes de correlação entre o logaritmo da condutividade hidráulica saturada e a densidade aparente e as percentagens de areia, de silte e de argila, para as profundidades de 0, 20, 40, 60 e 80 cm (30 amostras), bem como para toda a área (150 amostras), são apresentados no Quadro 5.

Os coeficientes de correlação entre o logaritmo da condutividade hidráulica saturada e a densidade aparente não foram significativos, ao nível de 5% de probabilidade ($P < 0,05$), concordando, de algum modo, com os resultados encontrados por COELHO (5) e MASON *et alii* (11). Comportamento idêntico foi verificado para a relação da condutividade com a percentagem de silte.

O logaritmo da condutividade hidráulica saturada está significativamente relacionado, ao nível de 1% de probabilidade ($P < 0,01$), com a percentagem de areia, para toda a área. Para as profundidades individuais, os coeficientes de correlação não foram significativos ($P < 0,05$).

O coeficiente de correlação entre percentagem de argila e logaritmo da condutividade hidráulica foi significativo ($P < 0,05$) junto à superfície (0 cm), ao passo que, levando em consideração toda a área, a significância foi ao nível de 1%.

O Quadro 6 mostra os coeficientes de correlação entre a densidade aparente e a distribuição de partículas do solo, para cada profundidade e para toda a área. Ana-

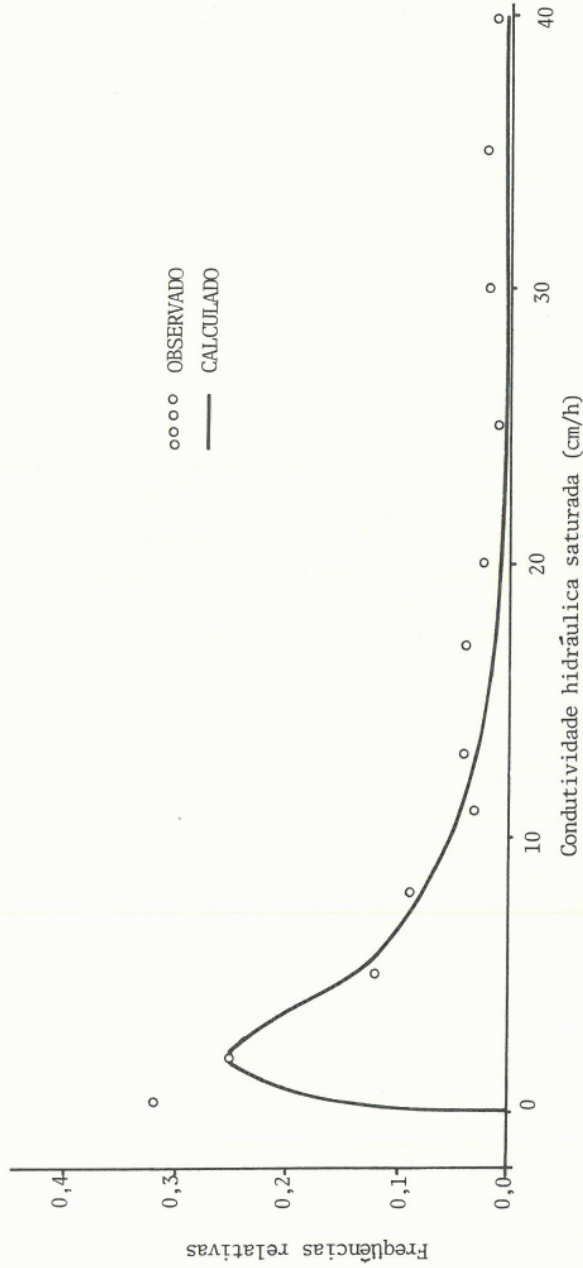


FIGURA 5 - Distribuição de frequência de 150 valores de condutividade hidráulica saturada, em (cm/h).

QUADRO 5 - Coeficiente de correlação entre logaritmo da condutividade hidráulica saturada, densidade aparente e percentagens de areia, de silte e de argila, nas profundidades amostradas

Profundidade (cm)	Densidade Aparente	% de Areia	% de Silte	% de Argila
0	-0,0370	0,2775	0,0049	-0,3726*
20	0,0567	-0,0414	-0,1690	0,1499
40	-0,0308	0,1609	0,0631	-0,2131
60	-0,1970	0,2493	-0,0893	-0,1626
80	0,0195	0,0495	0,0591	-0,0718
Todas	0,0629	0,2853**	-0,0728	-0,2344**

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

QUADRO 6 - Coeficiente de correlação entre densidade aparente e percentagens de areia, de silte e de argila, nas profundidades amostradas

Profundidade (cm)	% de Areia	% de Silte	% de Argila
0	0,6435**	-0,4159*	-0,5634**
20	0,6969**	-0,6507**	-0,4635**
40	0,5793**	-0,5600**	-0,1897
60	0,3789**	-0,3790*	-0,7456**
80	0,4373*	-0,2993	-0,1392

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

lisando-se esse quadro, observa-se que a densidade está bem correlacionada com as percentagens de areia, de silte e de argila; por exemplo, o coeficiente de correlação entre a densidade aparente e a percentagem de areia (0,6969), significativo ($P < 0,01$) para a profundidade de 20 cm, indica estreita relação entre essas características (1, 5).

A percentagem de argila, para as profundidades de 40 e 80 cm, não está correlacionada significativamente ($P < 0,05$) com a densidade aparente, ao passo que, para as outras profundidades e para toda a área, os coeficientes de correlação mostraram-se significativos ($P < 0,01$).

3.5. Componentes de Variância das Propriedades Medidas

Os componentes de variância, entre subáreas (σ_a^2), entre seções (σ_b^2) e dentro de seções (σ_e^2), de condutividade hidráulica saturada, densidade aparente e percenta-

gens de areia, de silte e de argila foram calculados a partir da análise de variância das informações obtidas nas cinco profundidades amostradas e encontram-se no Quadro 7.

Observa-se que, para as cinco características medidas nas profundidades de 0, 20, 40, 60 e 80 cm, o componente de variância referente à amostragem dentro de seções é maior que os componentes entre seções e entre subáreas. Há casos em que a contribuição desse componente de variância é de 100%, como se vê no Quadro 8. Nesse caso, diz-se que a área experimental tem alto grau de «macrouniformidade» em relação às características medidas. Esse termo foi utilizado por HAMMOND *et alii* (9) e COELHO (5) para descrever solos onde a variação entre áreas maiores é da mesma ou de menor magnitude que entre áreas menores.

O grau de «macrouniformidade» é mais evidente nas camadas de 0 e 20 cm de profundidade, onde a contribuição do componente de variância dentro de seções é maior que noutras profundidades (Quadro 8).

À exceção da profundidade de 80 cm, o componente de variância entre seções foi nulo para as percentagens de areia, de silte e de argila, como pode ser observado pelos valores negativos, que se vêem no Quadro 8.

Para a condutividade hidráulica saturada e a densidade aparente, houve contribuição de pelo menos dois componentes de variância para a variação total, para todas as profundidades, como se vê no Quadro 8.

O Quadro 9 mostra o número de amostras necessárias para estimar a média com 10% de precisão, ao nível de 5% de probabilidade, para as cinco propriedades medidas nas profundidades amostradas. Os resultados refletem a variabilidade das propriedades, medidas de acordo com as profundidades.

Observa-se, pelo Quadro 9, um aumento do número de amostras à medida que aumenta a profundidade, para todas as propriedades medidas, exceto a densidade aparente, ocasionado pela maior variabilidade do solo, no que diz respeito à profundidade, como foi observado por meio dos coeficientes de variação.

4. RESUMOS E CONCLUSÕES

Neste trabalho, procurou-se determinar a variabilidade da condutividade hidráulica saturada, a distribuição do tamanho das partículas do solo e a densidade aparente, bem como as relações entre essas propriedades e a distribuição de sua frequência numa área de aproximadamente 4,0 ha, situada no Sítio da Economia Rural, pertencente ao «Campus» da Universidade Federal de Viçosa (MG), cujo solo é classificado no grupo dos Podzólicos.

QUADRO 7 - Componentes de variância dentro de seções (σ_e^2), entre seções (σ_b^2) e entre subáreas (σ_a^2), para cinco propriedades, medidas em cinco profundidades

Profund. Solo (cm)	% de Areia	% de Silte	% de Argila	Densida- de Apa- rente	Condutivi- dade hidráulica
σ_e^2	153,5667	31,3000	77,9333	0,0140	121,0891
0 σ_b^2	-32,8331	-4,8999	-13,3665	0,0002	- 8,1526
σ_a^2	- 8,8307	6,6026	- 0,3474	0,0028	2,0822
σ_e^2	183,9333	34,3333	121,1333	0,0131	47,7229
20 σ_b^2	-32,2833	-1,2663	-17,0165	0,0025	27,7926
σ_a^2	-14,0556	-0,2309	-11,7890	0,0012	- 2,9589
σ_e^2	89,1667	42,5000	65,1335	0,0154	78,7824
40 σ_b^2	-15,2333	-6,0664	- 1,3997	-0,0056	-10,7644
σ_a^2	0,7528	1,1693	7,2913	0,0001	3,0576
σ_e^2	115,9333	62,0333	130,1667	0,0069	48,4168
60 σ_b^2	-13,0500	-5,9997	-22,3161	0,0026	1,8023
σ_a^2	- 7,8944	3,6664	11,2078	-0,0012	-3,2337
σ_e^2	114,3666	99,2000	198,4666	0,0138	3,7178
80 σ_b^2	37,4500	-6,0164	36,9670	0,0031	- 0,7006
σ_a^2	- 6,7889	6,3136	39,1190	-0,0012	0,3638

O esquema da amostragem adotado foi desenvolvido em três estádios, isto é, a área amostrada foi dividida em subáreas, que, por sua vez, foram divididas em seções e cada seção em locais de amostragem. O solo foi amostrado nas profundidades de 0, 20, 40, 60 e 80 cm, em 30 locais tomados ao acaso.

Estabeleceram-se relações entre as propriedades medidas por meio de coeficiente de correlação entre pares das cinco características, nas cinco profundidades amostradas.

QUADRO 8 - Contribuição dos componentes de variância entre sub-áreas (σ_a^2), entre seções (σ_b^2) e dentro de seções (σ_e^2), em relação à variação total (σ_t^2), expressa em percentagem

Profundidade Solo (cm)	a	% de Areia	% de Silte	% de Argila	Densidade de Aparente	Condutividade Hidráulica
0	Amostra	100,0	82,6	100,0	81,8	98,3
	Seção	0,0*	0,0	0,0	1,4	0,0
	Subárea	0,0	17,4	0,0	16,8	1,7
20	Amostra	100,0	100,0	100,0	91,6	63,2
	Seção	0,0	0,0	0,0	0,0	36,8
	Subárea	0,0	0,0	0,0	8,4	0,0
40	Amostra	99,2	97,3	89,9	99,7	96,3
	Seção	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Subárea	0,8	2,7	10,1	0,3	3,7
60	Amostra	100,0	94,4	92,1	72,5	96,4
	Seção	0,0	0,0	0,0	27,5	3,6
	Subárea	0,0	5,6	7,9	0,0	0,0
80	Amostra	75,3	94,0	72,3	81,8	91,1
	Seção	24,7	0,0	13,5	18,2	0,0
	Subárea	0,0	6,0	14,2	0,0	8,9

a Amostra = $(\sigma_e^2 / \sigma_t^2) 100$; Seção = $(\sigma_b^2 / \sigma_t^2) 100$;

Subárea = $(\sigma_a^2 / \sigma_t^2) 100$.

* Valores iguais a zero são provenientes de componentes de variância negativos.

QUADRO 9 - Número de amostras necessário para estimar a média com 10% de precisão, ao nível de 5% de probabilidade, para cinco propriedades, medidas em cinco profundidades

	Profundidade do Solo (cm)				
	0	20	40	60	80
% de Areia	35	54	39	62	85
% de Silte	48	51	60	79	113
% de Argila	12	15	9	15	38
Dens. Aparente	4	3	3	2	4
Condutividade	221	472	1139	1917	1577

A fim de caracterizar a variabilidade da área experimental em relação às propriedades medidas, foram calculados os componentes de variância dentro de seções, entre seções e entre subáreas.

Diante desses resultados, concluiu-se que:

1 — Das propriedades medidas, a condutividade hidráulica saturada mostrou maior variação tanto no sentido vertical quanto no horizontal, ocorrendo, à profundidade de 80 cm, coeficiente de variação em torno de 195%.

2 — A distribuição de frequência da densidade aparente e a da percentagem de argila seguiram distribuição normal, ao nível de 5% de probabilidade ($P < 0,05$), ao passo que as percentagens de areia e de silte não foram distribuídas normalmente a esse nível. A distribuição de frequência da condutividade hidráulica saturada aparentemente foi log-normal.

3 — As correlações entre a condutividade hidráulica saturada, a densidade aparente e as percentagens de areia, de silte e de argila não foram significativas, ao nível de 5% de probabilidade. Coeficientes de correlação entre densidade aparente e componentes da análise mecânica do solo foram significativos ao nível de 1% de probabilidade.

4 — A frequência de valores baixos de componentes de variância entre seções e entre subáreas revelou alto grau de «macrouniformidade» da área experimental.

5 — A profundidade que exigiu maior número de amostras para estimar a média com 10% de precisão, para as características medidas, foi a de 80 cm. O número de amostras retirado em cada profundidade (30) foi maior que o necessário para estimar a média dentro do limite especificado apenas para a densidade aparente e a percentagem de argila.

5. SUMMARY

A study of soil water parameters variability was performed on a 4 hectare area within a uniform mapping unit at the Federal University of Viçosa. From 30 sites selected by a three-stage sampling design, 150 cores samples were collected at 20 cm depth intervals to 80 cm.

The measured parameters showed different patterns of spatial variation. For example, variance components for the three — stages obtained from the analysis of variance showed that the variation within section was greater than among sections and field for all of the measured parameters and depth.

The variation coefficients for per cent sand, per cent silt, per cent clay, bulk density, and saturated hydraulic conductivity for all of the area were 37.91, 41.98, 21.95, 8.64, and 142.57%, respectively.

The amount of sample needed to estimate means within 10%, using the 0.05 level of significance, increased with depth.

Values of bulk density and per cent clay were normally distributed at the 0.05 level of significance. On the other hand, values of the saturated hydraulic conductivity were, apparently, log — normally distributed.

Highly significant correlations (significant at the 0.01 level) were found among bulk density and per cent sand, silt, and clay; and, among saturated hydraulic conductivity and per cent sand and clay.

6. LITERATURA CITADA

1. ANDREW, L.E. & STEARNS, W.R. Physical characteristics of four Mississippi soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 27:693-697. 1963.
2. BIGGAR, J.W. & NIELSEN, D.R. Spatial variability of the leaching characteristics of a field soil. *Water Resources Research*, 12:78-84. 1976.
3. BLAKE, G.R. Bulk density. In: Black, C.A. ed. *Methods of soil analysis*. Madison, Amer. Soc. of Agron., 1965, n.º 9. Parte 1 p. 374-390.
4. BUOL, S.W., HOLE, F. D. & McCracken, R.J. *Soil geneses and classification*. Ames, Iowa State University Press. 1973. 360 p.
5. COELHO, M.A. *Spatial variability of water related soil physical properties*. Tucson, University of Arizona. 1974. (Tese Ph.D).
6. DAY, P.R. Particle fractionation and particle — size analysis. In: Black, C.A., ed. *Methods of soil analysis*. Madison, Amer. Soc. of Agron., 1965. N.º 9, Parte 1. p. 545-567.
7. FERNANDES, B. *The effect of tillage systems on soil physical properties*. West Lafayette, Purdue University. 1976. (Tese Ph.D).
8. GRAYBILL, F.A. *An introduction to linear statistical models*. New York, McGraw Hill. 1961. 463 p.
9. HAMMOND, L.C., PRITCHETT, W.L. & CHEW, B. Soil sampling in relation to soil heterogeneity. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 22:548-552. 1958.

10. LILLIEFORS, H.W. On the Kolmogorov-Smirnov test for normality with mean and variance unknown. *J. Amer. Statist. Ass.*, 62:339-402. 1967.
11. MASON, D.D., LUTZ, J.F. & PETERSEN, R.J. Hydraulic conductivity as related to certain soil properties in a number of great soil groups-sampling errors involved. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 21:554-560. 1957.
12. NIELSEN, D.R., BIGGAR, J.W. & ERH, K.T. Spatial variability of field-measured soil-water properties. *Hilgardia*, 42:215-259. 1973.
13. OLIVEIRA, L.M. de. *Distribuições estatísticas*. Viçosa, Imprensa Universitária. 1970. 175 p.
14. PETERSON, R.G. & CALVIN, L.D. Sampling. In: Blake, C.A., ed. *Methods of soil analysis*. Madison, Amer. Soc. of Agron. 1965, n.º 9, Parte 1. p. 54-72.
15. PINTO, F.A. *Variabilidade da condutividade hidráulica saturada, da densidade aparente e da distribuição do tamanho das partículas de um podzólico vermelho-amarelo*. Viçosa, Imprensa Universitária. 1979. 55 p. (Tese M.S.).
16. REZENDE, S.B. *Estudo de cronotopossequência em Viçosa, Minas Gerais*. Viçosa, Imprensa Universitária. 1971. 71 p. (Tese M.S.).
17. SANTANA, D.P. *Estudo de Solos do Triângulo Mineiro e de Viçosa. I — Mineralogia, II — Adsorção de fosfatos*. Viçosa, Imprensa Universitária. 1973. 56 p. (Tese M.S.).
18. STEEL, R.G.D. & TORRIE, J.H. *Principles and procedures of statistics*. New York, McGraw Hill. 1960. 481 p.